

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-174421

(P2003-174421A)

(43) 公開日 平成15年6月20日 (2003. 6. 20)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	ページ数 (参考)
H 0 4 B 10/16		H 0 1 S 3/10	Z 5 F 0 7 2
H 0 1 S 3/10		3/131	5 K 0 0 2
3/131		H 0 4 B 9/00	J
H 0 4 B 10/17			E
H 0 4 J 14/00			

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 25 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2001-373541 (P2001-373541)

(22) 出願日 平成13年12月7日 (2001. 12. 7)

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号

(72) 発明者 友藤 博朗

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号 富士通株式会社内

(72) 発明者 前田 卓二

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号 富士通株式会社内

(74) 代理人 100074099

弁理士 大曾 義之 (外1名)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光増幅器

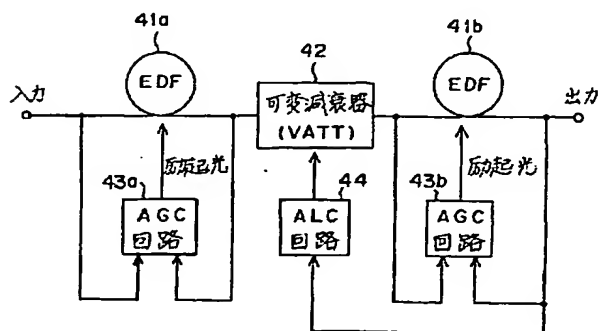
(57) 【要約】

【課題】 波長多重光を増幅する光増幅器において、各信号光の出力レベルの安定化を図る。

【解決手段】 波長多重光は、EDF 41 a および EDF 41 b により増幅される。EDF 41 a、EDF 41 b の利得は、それぞれ AGC 回路 43 a、AGC 回路 43 b により一定の値に保持される。EDF 41 a と EDF 41 b との間には、可変減衰器 42 が設けられている。可変減衰器 42 における損失は、出力パワーが監視制御信号により指示される所定の値に保持されるように、ALC 回路 44 により制御される。AGC 回路 43 a、43 b の時定数は、それぞれ EDF 41 a、EDF 41 b の応答時間と比べて十分に短い。ALC 回路 44 の時定数は、監視制御信号が各光ノードに伝達されるまでの時間と比べて十分に長い。

本発明の実施形態の光増幅器の

基本構成を示す図



【特許請求の範囲】

【請求項1】 光増幅媒体および光減衰器を含み、波長多重光を伝送する光通信システムにおいて使用される複数の光増幅器の中の任意の光増幅器であって、上記光増幅媒体の利得を一定の値に保持する利得制御回路と、

当該光増幅器の出力レベルが、上記光通信システム内の各光増幅器に通知される制御信号に対応する値に保持されるように上記光減衰器における損失を制御するレベル制御回路、を有し、

上記レベル制御回路の時定数が、上記制御信号が上記光通信システム内の各光増幅器に通知されるまでの時間よりも長いことを特徴とする光増幅器。

【請求項2】 光増幅媒体および光減衰器を含み、波長多重光を増幅する光増幅器であって、上記光増幅媒体の利得を一定の値に保持する利得制御回路と、

当該光増幅器の出力レベルが一定の値に保持されるように上記光減衰器における損失を動的に制御する第1の動作モード、または、上記光減衰器における損失として上記第1の動作モードの終了時の損失値を固定的に設定する第2の動作モードを選択的に実行するレベル制御回路、

を有する光増幅器。

【請求項3】 請求項1または2に記載の光増幅器であって、上記利得制御回路の時定数が、上記光増幅媒体の応答時間よりも短い。

【請求項4】 光増幅媒体および光減衰器を含み、波長多重光を増幅する光増幅器であって、上記光増幅媒体の利得を一定の値に保持する利得制御回路と、

当該光増幅器の出力レベルが一定の値に保持されるように上記光減衰器における損失を制御するレベル制御回路と、を有し、

上記利得制御回路が、上記光増幅媒体の入力パワーおよび出力パワーを検出する検出手段と、

その検出手段により検出された入力パワーおよび出力パワーに基づいて、上記光増幅媒体の利得を算出する算出手段と、

その算出手段により算出された利得に従って上記光増幅媒体に供給すべき励起光のパワーを制御する励起光制御手段と、を有し、

上記算出手段が、上記光増幅媒体において発生する自然放出光パワーに対応する所定の値が加算された上記入力パワーと、上記出力パワーとの比率に基づいて上記光増幅媒体の利得を算出することを特徴とする光増幅器。

【請求項5】 請求項1に記載の光増幅器であって、上記レベル制御回路は、上記制御信号により波長多重光

の波長数が増加したことが通知された時に、上記光減衰器における損失を固定する。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光増幅器および光通信システムに係わり、特に、波長多重光を増幅する光増幅器および波長多重光通信システムに係わる。

【0002】

【従来の技術】インターネットや画像伝送サービス等の普及に伴い、ネットワークを介して伝送される情報の量が急速に増加しており、これに対応するために波長多重(WDM: Wavelength Division Multiplex)光通信システムの導入が進められてきている。そして、波長多重光通信システムは、長距離幹線系だけでなく、都市内リング(メトロリング)網にも導入されるようになってきている。

【0003】長距離幹線系では、通常、所定間隔ごとに光増幅器が設けられており、各光増幅器は、状況に応じて、ALC(Automatic Level Control)モードまたはAGC(Automatic Gain Control)モードで波長多重光を増幅する。ここで、ALCモードは、光増幅器の出力を一定のレベルに保持する動作モードであり、AGCモードは、光増幅器の利得を一定の値に保持する動作モードである。

【0004】各光増幅器は、通常時は、レベルゲイヤを安定させるためにALCモードで動作する。そして、波長多重光の波長数が増加または減少する時に、レベル変動を抑えるために、各光増幅器の動作モードが端局からの制御信号に従ってALCモードからAGCモードに切り替えられる。ここで、ALCの時定数(応答時間)は、ALC回路の実現が容易であり且つPDL(Polarization Dependent Loss)の影響を抑えるために、数10〜数100msに設定されている。一方、AGCの時定数(応答時間)は、数10msに設定されている。なお、「ALCの時定数(応答時間)」とは、一義的ではないが、例えば、光増幅器の入力/出力レベルが変動した時から、出力レベルが保持すべき一定のレベルに戻るように励起光パワー又は可変減衰器における損失が適切に調整されるまでの時間を意味する。一方、「AGCの時定数(応答時間)」とは、一義的ではないが、例えば、光増幅器の入力/出力レベルが変動した時から、光増幅器の利得が保持すべき一定の値に戻るように励起光パワーが適切に調整されるまでの時間を意味する。ちなみに、ALCモードおよびAGCモードを備える光増幅器は、例えば、特開2000-151515号公報に詳しく記載されている。

【0005】都市内リング網では、通常、複数の光ノードがリング状に接続されており、各光ノードの中に上述の光増幅器が設けられている。ここで、都市内リング網は、長距離幹線系システムと比べて、以下の理由によ

り、波長多重光の波長数が増加される頻度が高い。

【0006】(1) 需要に応じて任意の光ノード間でパスが設定／削除される。

(2) IPネットワークに適したIPover WDMにおいては、WDMシステムによりプロテクション機能が提供されることが望まれている。ここで、このプロテクション機能は、ビットレート無依存性の要望を考慮すると、光レイヤ層で波長を切り替える方式が有力である。しかし、この方式では、波長数の過渡的な増加／減少が生じる。

【0007】(3) 将来的には、波長の時間貸しサービスが行われると見込まれている。この場合、任意の光ノード間で頻繁にパスが設定／削除される。このように、都市内リング網では、波長多重光の波長数が頻繁に変化する。そして、各光ノードの光増幅器は、波長数が増加するごとに動作モードを適切に切り替えながら波長多重光を増幅する。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】ところで、光通信システムの低コスト化を図るためには、基本的には、光ノードまたは光増幅器を構成する部品の低コスト化を図る必要がある。そして、一実施形態としては、受信部の構成として直前に光増幅器を配置して受光素子(PINフォトダイオード)と組み合わせて用いることにより、比較的安価で受光素子そのもので増幅機能を有するナノバランシェフォトダイオードを利用する構成が実施されている。

【0009】ところが、10Gb/sの伝送速度になると、このような受光素子は、一般に、ダイナミックレンジが狭く、波長多重光のチルト、光部品の損失特性のばらつき、外部環境の変化などを考慮すると、光増幅器の出力レベルが安定している必要がある。例えば、10Gbpsの場合、安価な受光素子のダイナミックレンジは10dB程度である。ここで、光ノードの受信回路に設けられる分波器の損失のばらつきは±2dB程度であり、波長多重光のチルト(光レベルの波長依存性)も±2dB程度である。また、周囲の気温の変化幅が60度であったとすると、伝送路の長さを100kmとした場合、光レベルが最大1.8dB程度変動してしまう。したがって、光増幅器の出力レベルが不安定になると、受信エラーが発生することになる。

【0010】しかし、既存の光増幅器では、以下の理由により、その出力レベルの変動を抑えることが難しかった。

(1) 光増幅器は、上述したように、通常時はALCモードで動作し、波長多重光の波長数が増加したときにAGCモードで動作する。このとき、波長数情報は、たとえば、各光ノードを介して伝送される制御信号により通知される。しかし、この制御信号は、通常、各ノードにおいて電気信号に変換されてから解釈され、その後、再

び光信号に変換されて3R(信号再生、波形再生、タイミング再生)動作を行いながら次の光ノードに転送されるようになっている。このため、波長多重光の波長数が増加してから波長数情報が各光ノードに到着するまでに、数100m秒～数秒かかることがあった。一方、ALCモードでは、通常、光増幅器の出力レベルが波長多重光の波長数に対応する一定の値になるように制御される。このとき、波長数は、上述の波長数情報により通知される。したがって、光増幅器は、波長数が増加してから波長数情報が通知されるまでの間(上述の例では、数100m秒～数秒)は、変化前の波長数に対応する出力レベルを維持するように動作することになり、各波長ごとのレベルが変動してしまう。例えば、波長多重光の波長数が3波長から5波長に増加した場合は、ALCモードで動作している光増幅器は、波長数情報を受信するまでの期間は、3波長が多重されているものとして波長多重光を増幅するので、各波長ごとの出力レベルが大きく低下してしまう。

【0011】(2) AGCモードでは、入力レベルが変動すると、その変動に応じて励起光パワーが調整されることにより、一定の利得が保持されるように出力パワーが増加する。しかし、AGCモードの時定数としては、一般に、光増幅器の応答時間よりも長い値が設定されている。ここで、「光増幅器の応答時間」とは、一義的ではないが、例えば、光増幅器の増幅媒体に供給される励起光のパワーが増加した時から、その増幅媒体においてその励起光パワーに対応する励起状態が得られるまでの時間を意味する。このため、光増幅器がAGCモードで動作している場合には、入力レベルが変動した時に、励起光パワーがそれに追従できず、過渡的に適切な利得が得られない状態が発生してしまう。例えば、波長多重光の波長数が減少することによりトータル入力パワーが低下した場合は、AGCモードで動作している光増幅器は、励起光パワーが適切に調整されるまでの期間は、トータル入力パワーが低下する前の状態が継続しているものとして波長多重光を増幅するので、各波長ごとの出力レベルが一時的に増加してしまう。

【0012】(3) AGCモードでは、入力レベルと出力レベルとの比が一定になるように励起光パワーが制御されるが、光増幅媒体(例えば、エルビウム添加ファイバ)において生成されるASE光により、信号利得が目値からずれてしまう。

【0013】(4) AGCモードでは、入力レベルと出力レベルとの比が一定になるように励起光パワーが制御されるので、通信システムのプロテクション動作等において入力光が停止すると、利得制御系が不安定になる。したがって、入力光が停止している状態から信号光が入力される状態に遷ると、サージ(ここでは、光増幅器の出力レベルが一時的に過大になる現象をいう)が発生する可能性がある。

【0014】このように、既存の光増幅器は、入力レベルが変化した場合（波長多重光の波長数が変化した場合を含む）に、その出力レベルが変動することがあった。本発明の課題は、波長多重光を増幅する光増幅器において、安定した出力レベルが得られるようにすることである。

【0015】

【課題を解決するための手段】本発明の光増幅器は、波長多重光を伝送する光通信システムにおいて使用される複数の光増幅器の中の任意の光増幅器であって、光増幅媒体および光減衰器を含む。そして、上記光増幅媒体の利得を一定の値に保持する利得制御回路と、当該光増幅器の出力レベルが上記光通信システム内の各光増幅器に通知される制御信号に対応する値に保持されるように上記光減衰器における損失を制御するレベル制御回路を有する。さらに、上記レベル制御回路の時定数が、上記制御信号が上記光通信システム内の各光増幅器に通知されるまでの時間よりも長い。

【0016】入力波長多重光の波長数が変化すると、それに応じて波長多重光の出力レベルが変動する。ただし、このとき、各波長ごとの出力レベルは変動しない。上記レベル制御回路は、波長多重光の出力レベルが変動すると、設定されている時定数に対応する速度で、その出力レベルが元の状態に戻るようにより上記光減衰器における損失を調整する。この後、上記制御信号により波長多重光の新たな波長数が通知されると、その制御信号に従って当該光増幅器の動作が制御される。ここで、上記レベル制御回路の時定数は、上記制御信号が当該光増幅器に通知されるまでの時間よりも長い。このため、波長多重光の波長数が変化したときから当該光増幅器が上記制御信号を受信するまでの期間に、上記波長多重光の出力レベルは、上記レベル制御回路によって大きく変動することはない。したがって、波長多重光の各波長ごとの出力パワーの変動は小さい。

【0017】上記光増幅器において、上記レベル制御回路は、上記制御信号により波長多重光の波長数が変化したことが通知された時に上記光減衰器における損失を固定するようにしてもよい。この構成によれば、波長多重光の波長数が変化した時に、光増幅器の動作モードが、ALC（自動レベル制御）で動作している状態からAGC（自動利得制御）で動作する状態に遷ることができ

る。

【0018】本発明の他の態様の光増幅器は、光増幅媒体、光減衰器、上記光増幅媒体の利得を一定の値に保持する利得制御回路、および当該光増幅器の出力レベルが一定の値に保持されるように上記光減衰器における損失を制御するレベル制御回路を備える。そして、上記利得制御回路は、上記光増幅媒体の入力パワーおよび出力パワーを検出する検出手段と、その検出手段により検出された入力パワーおよび出力パワーに基づいて上記光増幅

媒体の利得を算出する算出手段と、その算出手段により算出された利得に従って上記光増幅媒体に供給すべき励起光のパワーを制御する励起光制御手段を有し、上記算出手段は、上記光増幅媒体において発生する自然放出光パワーに対応する所定の値が加算された上記入力パワーと、上記出力パワーとの比率に基づいて上記光増幅媒体の利得を算出する。

【0019】上記構成によれば、光増幅媒体の利得を算出する際に、自然放出光の影響が排除される。このため、出力レベルは、信号に対する利得が一定になるように正確に制御される。また、上記算出手段は、自然放出光パワーに対応する所定の値が加算された入力パワーと出力パワーとの比率に基づいて利得を算出する。したがって、信号入力が停止した状態であっても、算出手段に「ゼロ」が入力されることはなく、レベル制御回路の動作は不安定になることが回避される。

【0020】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施形態について図面を参照しながら説明する。図1は、本発明の実施形態の光増幅器が使用される光通信システムの一例の構成図である。ここでは、リング状の伝送路を有する光通信システムを採り上げるが、本発明はこれに限定されるものではなく、2地点あるいは多地点が任意の経路で接続される光通信システムに適用可能である。

【0021】この光通信システムは、複数の光ノード1が光ファイバによりリング状に接続された構成である。ここで、各光ノード間は、それぞれ2本の光ファイバ（時計回り回線、反時計回り回線）により接続されており、2重リングが形成されている。そして、時計回り回線および反時計回り回線を介してそれぞれ波長多重光が伝送される。具体的には、時計回り回線では、波長 $\lambda_2$ 、 $\lambda_4$ 、 $\lambda_6$ 、...を利用して現用系の信号が伝送され、波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_3$ 、 $\lambda_5$ 、...を利用して予備系信号（あるいは、優先度の低い信号）が伝送される。一方、反時計回り回線では、波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_3$ 、 $\lambda_5$ 、...を利用して現用系の信号が伝送され、波長 $\lambda_2$ 、 $\lambda_4$ 、 $\lambda_6$ 、...を利用して予備系信号（あるいは、優先度の低い信号）が伝送される。

【0022】各光ノード1は、光増幅器を備え、入力された波長多重光を増幅して次の光ノードへ送信する。また、各光ノード1は、それぞれ1以上のクライアント回線を収容することができる。そして、各光ノード1は、幹線系回線（時計回り回線、反時計回り回線）から受信した波長多重光の中の任意の信号光をクライアント回線に導く機能（ドロップ機能）、およびクライアント回線から受信した信号光を幹線系回線に多重する機能（アド機能）を備えている。

【0023】図2は、実施形態の光通信システムの制御系を説明する図である。各光ノード1は、それぞれ監視制御（OSC）部10を備えている。ここで、OSC部

10は、この光通信システムの動作状態を監視および制御するための監視制御信号を生成／転送すると共に、受信した監視制御信号に従って光増幅器等の動作を制御する。具体的には、受信器11は、対応する光ノードから受信した監視制御信号を電気信号に変換し、それを制御回路に渡す。制御回路12は、受信した監視制御信号に従って自ノード内の光増幅器等を制御すると共に、必要に応じてその監視制御信号を更新する。送信器13は、監視制御信号を光信号に変換して次の光ノードに送信する。ここで、OSC部10は、監視制御信号に対して3R（信号再生、波形再生、タイミング再生）処理を行う。なお、監視制御信号は、予め決められた所定の波長（例えば、1510nm、1625nm）を利用して伝送される。また、この監視制御信号は、少なくとも、幹線系回線を介して伝送される波長多重光の波長数を表す波長数情報を伝送する。

【0024】このように、実施形態の光通信システムは、監視制御信号によりその状態が監視され、また、その動作が制御される。図3は、光ノードの構成図である。ここで、光ノード1は、上述したように、幹線系回線を介して伝送されてきた波長多重光を増幅する機能、ドロップ機能、およびアド機能を備えている。なお、波長多重光は、複数の信号光および監視制御信号を伝送するOSC光を含んでいる。

【0025】入力された波長多重光は、光プリアンプ22により増幅された後、分波器23により波長ごとに分波される。なお、光プリアンプ22の前段に設けられているWDMカプラ21は、波長多重光の中に含まれているOSC光を受信器11に導く。分波器23により波長ごとに分波された信号光は、対応する光スイッチ24に導かれる。合波器25は、光スイッチ24から出力される複数の信号光を合波する。そして、合波器25から出力される波長多重光は、ポストアンプ26により増幅された後、幹線系回線に出力される。なお、光プリアンプ26の後段に設けられているWDMカプラ27は、波長多重光にOSC光を合波する。

【0026】光スイッチ31は、2本の幹線系回線（時計回り回線、反時計回り回線）から導かれてくる信号光を選択する。また、トランスポンダ（アド・ドロップ回路）32は、光スイッチ31により選択された信号光をクライアント回線に導くと共に、クライアント回線から受信した信号光を光スプリッタ（分岐カプラ）33を介して光スイッチ34a、34bに導く。光スイッチ34a、34bは、本信号と優先度の低い信号の選択を行い、受信した信号光を対応する光スイッチ24に導く。そして、各光スイッチ24は、それぞれ制御回路12からの指示に従って、幹線系回線からの信号光またはクライアント回線からの信号光を選択し、その選択した信号光を合波器25またはトランスポンダ32に導く。

【0027】図4および図5は、実施形態の光通信シス

テムにおけるプロテクション動作を説明する図である。なお、「プロテクション動作」とは、ここでは、回線障害等が発生した場合に、信号を伝送するためのパスまたは経路を再設定する動作を意味する。

【0028】図4は、障害が発生していない状態（非プロテクション状態）を示している。ここで、実線は、現用系信号を伝送するパスを示しており、破線は、予備系信号（または、優先度の低い信号）を伝送するパスを示している。

【0029】図4において、反時計回り回線には、光ノード1aから光ノード1dへ現用系信号を伝送するための3本のパス（λ#5、λ#7、λ#9）、光ノード1bから光ノード1cへ現用系信号を伝送するための2本のパス（λ#1、λ#3）、および光ノード1aから光ノード1bへ予備系信号を伝送するための2本のパス（λ#2、λ#4）が設定されている。また、時計回り回線には、光ノード1dから光ノード1aへ現用系信号を伝送するための3本のパス（λ#6、λ#8、λ#10）、光ノード1cから光ノード1bへ現用系信号を伝送するための2本のパス（λ#2、λ#4）、および光ノード1bから光ノード1aへ予備系信号を伝送するための2本のパス（λ#1、λ#3）が設定されている。

【0030】幹線系回線を介して伝送される波長多重光の波長数は、ロケーションごとに異なっている。例えば、光ノード1bと光ノード1cとの間の反時計回り回線上では、5波長（λ1、λ3、λ5、λ7、λ9）が多重された波長多重光が伝送される。従って、この場合、光ノード1cにおいて反時計回り回線のために設けられている光プリアンプは、5波長が多重された波長多重光を増幅する。一方、光ノード1dと光ノード1aとの間の反時計回り回線上には、パスは設定されていない。従って、この場合、光ノード1aにおいて反時計回り回線のために設けられている光プリアンプには、波長多重光は入力されていない。

【0031】図5は、光ノード1aと光ノード1bとの間で障害が発生した状態（プロテクション状態）を示している。この場合、障害が発生した伝送路を利用して設定されていたパスのうち、現用系信号を伝送するためのパスは、他の経路を介して再設定される。具体的には、図4において反時計回り回線上に設定されていた3本のパス（λ#5、λ#7、λ#9）は、時計回り回線上に設定される3本のパス（λ#5、λ#7、λ#9）として再設定される。同様に、図4において時計回り回線上に設定されていた3本のパス（λ#6、λ#8、λ#10）は、反時計回り回線上に設定される3本のパス（λ#6、λ#8、λ#10）として再設定される。一方、障害が発生した伝送路を利用して伝送されていた優先度の低い信号は停止される。

【0032】この結果、光ノード1cには、反時計回り回線を介して2波長が多重された波長多重光が入力され

る。すなわち、図5に示す障害が発生することにより、光ノード1cにおいて反時計回り回線のために設けられている光プリアンプに入力される波長多重光の波長数は、「5」から「2」に減少することになる。一方、光ノード1aには、反時計回り回線を介して3波長が多重された波長多重光が入力される。すなわち、図5に示す障害が発生することにより、光ノード1aにおいて反時計回り回線のために設けられている光プリアンプに入力される波長多重光の波長数は、「0」から「3」に増加することになる。

【0033】このように、実施形態の光通信システムでは、障害の発生に起因してプロテクションが開始されると、1または複数のノードにおいて、光増幅器に入力される波長多重光の波長数が変動する。そして、実施形態の光増幅器は、このようにして波長多重光の波長数が変動した場合であっても、出力レベルの変動が小さく抑えられる。

【0034】図6は、本発明の実施形態の光増幅器の基本構成を示す図である。なお、この光増幅器は、各光ノードに設けられ、例えば、図3に示す光プリアンプ22または光ポストアンプ26に相当する。そして、AGCモードまたはALCモードで入力された波長多重光を増幅する。

【0035】この光増幅器は、2段増幅構成であり、光増幅媒体としてのエルビウム添加ファイバ(EDF)41a、41bを備える。なお、光増幅媒体は、エルビウム添加ファイバに限定されるものではなく、他の形態の希土類添加ファイバであってもよい。また、EDF41aとEDF41bとの間には、光レベルを調整する可変減衰器(VATT)42が設けられている。

【0036】AGC回路43aは、EDF41aに励起光を供給するための励起光源を備える。そして、EDF41aの入力レベル/出力レベルをモニタし、EDF41aの利得が予め決められた一定の値に保持されるように励起光パワーを調整する。同様に、AGC回路43bは、EDF41bに励起光を供給するための励起光源を備える。そして、EDF41bの入力レベル/出力レベルをモニタし、EDF41bの利得が予め決められた一定の値に保持されるように励起光パワーを調整する。ALC回路44は、当該光増幅器の出力レベル(すなわち、EDF41bの出力レベル)が所定の値に保持されるように可変減衰器42における損失を制御する。

【0037】上記構成の光増幅器がAGCモードで動作するときは、光減衰器42における損失は適切な値に固定される。そして、AGC回路43a、43bは、EDF41a、41bの利得を適切に制御する。一方、この光増幅器がALCモードで動作するときは、ALC回路44は、出力レベルが波長多重光の波長数に対応する値に保持されるように可変減衰器42における損失を制御する。このとき、EDF41a、41bの利得は、AG

C回路43a、43bにより適切な値に保持されている。なお、波長多重光の波長数は、図2を参照しながら説明した監視制御信号を利用して通知される。

【0038】上記構成の光増幅器において、AGCの時定数およびALCの時定数は、以下のようにして設定される。

(1) AGCの時定数は、EDF41a、41bの応答時間に対して十分に短くする。

【0039】(2) ALCの時定数は、監視制御信号が各光ノードに伝達されるのに要する時間よりも長くする。図7は、光増幅媒体の応答時間を説明する図である。光増幅媒体の利得は、励起光により制御される。すなわち、励起光パワーが低下すれば、それに伴って光増幅媒体の利得も小さくなり、励起光パワーが高くなれば、それに伴って光増幅媒体の利得も高くなる。しかし、励起光パワーが変化した時から光増幅媒体の利得がその変化に応じて調整されるまでには一定の時間を要する。そして、この応答時間は、一般に、励起光パワーが増加したときよりも、励起光パワーが低下したときの方が長くなる。なお、光増幅媒体の応答時間は、その材料に依存して決まり、例えば、EDFの場合は数m秒程度である。

【0040】図8は、AGCの時定数を説明する図である。ここでは、AGC回路(43aまたは43b)は、図8(a)に示すように、EDF(41aまたは41b)の入力パワーと出力パワーとの比率に基づいて利得を算出する機能、その算出した利得を参照値と比較する機能、およびその比較結果に対応する励起光を生成する励起光源を備えるものとする。

【0041】図8(b)に示すように、入力パワーが安定している期間は、出力パワーも安定しており、利得も一定である。ところが、EDFの利得は、入力パワーに依存する。具体的には、例えば、一定の励起光が与えられているときに入力パワーが低下すると、EDFの利得はそれに応じて高くなる傾向にある。このため、AGC回路は、入力パワーが変化すると、それに応じて励起光パワーを適切に調整する必要がある。ここで、入力パワーが変化した場合であっても、AGC回路が十分に短時間でそれに追従すれば、利得は一定に保たれる。

【0042】励起光パワーは、基本的に、入力パワーおよび出力パワーに基づいて制御される。すなわち、入力パワーの変化に応じて励起光パワーが適切に調整されるためには、入力パワーと出力パワーとの比率に基づいて利得を算出する処理、およびその算出された利得と参照値との差分を求める処理等が必要である。このため、AGC回路の応答時間をゼロにすることは困難である。

【0043】ただし、この応答時間を十分に小さくすることは可能である。すなわち、AGC回路の応答時間は、上記利得を算出するために割り算機として動作するアンプの応答時間、および上記差分を導出するためのア



ンプの応答時間に大きく依存するので、これらのアンプの高速化を図ることによりAGC回路の応答時間は短縮される。なお、高速なAGC回路を用いてEDFを制御する方式は、たとえば、OFC2001 PD38-1に記載されている。

【0044】実施形態の光増幅器では、AGCの時定数（応答時間）は、光増幅媒体の応答時間よりも短くなるように設定される。一例としては、AGCの時定数は、光増幅媒体の応答時間の1/100以下に設定される。したがって、入力パワーが変化した場合であっても、利得は一定に保たれる。すなわち、波長多重光の波長数が変化した場合であっても、1波当たりの入力パワーが変化しなければ、1波当たりの出力パワーも変動しない。

【0045】図9は、ALCの時定数を説明する図である。ここでは、ALC回路(44)は、図9(a)に示すように、出力パワーに基づいて可変減衰器(42)における損失を制御する機能を備えるものとする。

【0046】図9(b)に示すように、入力パワーが変化すると、それに応じて出力パワーも変化する。ここで、ALC回路は、出力パワーが一定に保持されるように可変減衰器における損失を調整する。このとき、この損失の変化は、例えば、指数関数を用いて表される。具体的には、損失の変化は、例えば、出力パワーが下式により表されるように定義される。ただし、「 $\Delta P$ 」は、入力パワーが変化した時の総出力パワーの変化量を表し、「 $T$ 」は所定の時定数を表す。また、「 $t$ 」は、入力パワーが変化した時点から計時される時間を表し、「 $\alpha$ 」は、「 $t=0$ 」における出力パワーを表す。

$$P_{out} = \Delta P (1 - e^{-t/T}) + \alpha$$

この式によれば、入力パワーが変化したときから時間 $T$ が経過した時点における出力パワーの誤差は、「 $\Delta P/e$ 」にまで小さくなっている。そして、以下では、この時間 $T$ を、「ALCの時定数」または「ALCの応答時間」と呼ぶことがある。

【0048】ALCの時定数（応答時間）は、監視制御信号が各光ノードに伝達されるのに要する時間よりも長くなるように設定される。具体的には、たとえば、ALCの時定数は、監視制御信号が各光ノードに伝達されるのに要する時間の10倍以上になるように設定される。ここで、監視制御信号が各光ノードに伝達される時間は、各光ノードにおける遅延時間、信号の伝搬時間、プロテクション時間、波長数処理時間の和により与えられる。なお、各光ノードにおける遅延時間は、3R動作に要する時間を含む。信号の伝搬時間は、伝送路の長さに依存する。プロテクション時間は、例えばSONET等の規格として定義されており、50～100m秒である。波長数処理時間は、監視制御信号により波長多重光の波長数が通知されたときから、その波長数に応じてALC回路の設定が変更されるまでに要する時間である。

【0049】例えば、波長多重光の波長数の最大値が4

0であり、波長数が増加したときの光増幅器の出力レベルの変動を0.1dB以下に抑えるためには、上記計算式によれば、「 $T=100$ 秒」が得られる。

【0050】なお、光増幅媒体の応答時間とAGCの時定数、または光増幅媒体の応答時間とALCの時定数、またはAGCの時定数とALCの時定数が互いに一致または近接していると、光増幅器の制御系において発振等が発生する可能性がある。しかし、実施形態の光増幅器では、AGCの時定数は、EDFの応答時間に対して十分に短く設定されている。一方、ALCの時定数は、監視制御信号が各光ノードに伝達されるのに要する時間よりも長く設定されるので、EDFの応答時間に対して十分に長くなる。したがって、制御系が発振等により不安定になることはない。

【0051】図10は、実施形態の光増幅器の構成図である。この光増幅器では、入力された波長多重光は、EDF41a、41bにより増幅されると共に、可変減衰器42によりその出力レベルが調整される。なお、EDF41a、41bの利得はAGC回路43a、43bにより制御され、可変減衰器42における損失はALC回路44により制御される。

【0052】EDF41aの利得は、EDF41aの入力パワーおよび出力パワーに基づいて制御される。ここで、EDF41aの入力パワーは、受光素子(PD)51aにより検出され、EDF41aの出力パワーは、受光素子(PD)52aにより検出される。

【0053】アンプ53aは、上記入力パワーと出力パワーとの比率を求める。ただし、よく知られているように、EDFを用いた増幅では自然放出(ASE: Amplified Spontaneous Emission)が発生する。即ち、EDFへの入力パワーが「 $P_{in}$ 」であるとする、その出力パワーは、「 $G P_{in} + P_{ase}$ 」になる。ここで、「 $G$ 」はEDFの利得を表し、「 $P_{ase}$ 」はASE光パワーを表す。従って、もし、検出された入力パワーおよび出力パワーに基づいてEDFの利得を算出すると、下記の値が得られてしまう。

【0054】

$$\begin{aligned} \text{利得算出値} &= \text{出力パワー} / \text{入力パワー} \\ &= (G P_{in} + P_{ase}) / P_{in} \\ &= G + P_{ase} / P_{in} \\ &= G + P_{ase} / m P_{inch} \end{aligned}$$

この式で、「 $m$ 」は波長多重光の波長数（チャンネル数）を表し、「 $P_{inch}$ 」は1チャンネル当たりの入力パワーを表す。すなわち、受光素子により検出された入力／出力パワーのみを用いて利得を算出しようとする、ASEに起因する誤差が発生することになる。そして、その誤差は波長多重光の波長数に依存する。

【0055】よって、この実施形態では、加算機54aにおいて、受光素子51aにより検出された入力パワー値に対して、ASE補正值1が加算される。ここで、A

SE補正值1は、EDF41aから出力されるASE光パワーをEDF41aの利得で除算することにより得られる値に相当し、例えば、「 $NF h \nu \Delta f$ 」で与えられる。なお、「 $NF (=2 nsp)$ 」は、ノイズ指数を表し、「 $h \nu$ 」は、エネルギーを表し、「 $\Delta f$ 」は、帯域を表す。このとき、「 $NF$ 」は、1チャンネル当たりの入力パワーに依存するので、入力パワーに基づいて設定されるようにしてもよい。そして、このようにしてASE補正值1を決定すれば、ASEに起因して発生し且つ波長数に依存する誤差による影響が排除される。

【0056】アンプ55aは、アンプ53aから出力される利得算出値と予め設定されている所定の利得G1との差分に基づいて、励起光源(LD)56aを駆動する。このように、AGC回路43aにおいては、受光素子51aにより検出された入力パワー値にASE補正值1が加算される。したがって、EDF41aの利得が適切に検出され、その検出結果を利用してEDF41aの利得が正しく制御される。また、AGC回路43aは、EDF41aへの入力光が停止した場合は、ASE補正值1に相当する光がEDF41aに入力されているものと見なして動作する。従って、AGC回路43aに「ゼロ」が入力される状態が回避され、制御系が安定する。

【0057】EDF41bの利得を制御するAGC回路43bの構成および動作は、基本的に、AGC回路43aと同じである。したがって、その説明は省略する。なお、AGC回路43a、43bの応答時間(AGC時定数)は、上述したように、EDF41a、41bの応答時間と比較して十分に短い。そして、このことは、例えば、アンプ53a、53b、55a、55bの高速化により実現される。

【0058】ALC回路44は、この光増幅器の出力パワーが波長多重光の波長数に対応する設定値に一致するように可変減衰器42における損失を制御する。ここで、この光増幅器の出力パワーは、受光素子(PD)52bにより検出される。また、波長多重光の波長数は、上述した監視制御信号により通知される。ただし、波長多重光の波長数に対応する設定値は、ASE補正值3により補正される。なお、ASE補正值3は、例えば、特開2000-232433号公報に記載されている方法に従って決定されるようにしてもよい。そして、ALC回路44の出力により、可変減衰器42が制御される。ここで、切替え回路57は、この光増幅器がALCモードで動作しているときは、ALC回路44の出力を選択する。

【0059】なお、ALC回路44の応答時間(ALC時定数)は、上述したように、監視制御信号が各光ノードに伝達されるのに要する時間よりも長い。実施形態の光増幅器は、さらにALC補助回路60を備えている。ここで、ALC補助回路60は、アンプ61、63、およびサンプルホールド回路62を含む。そして、アンプ

61は、可変減衰器42の入力/出力パワーに基づいて、可変減衰器42における損失を求める。なお、可変減衰器42の入力パワーは受光素子52aにより検出され、出力パワーは受光素子51bにより検出される。サンプルホールド回路62は、所定時間ごとにアンプ61の出力を取り込む。そして、アンプ63は、アンプ61により得られる可変減衰器42における損失をサンプルホールド回路62に保持されている損失値に一致させるための差分データを出力する。

【0060】ALC補助回路60は、光増幅器がALCモードで動作しているときに上述のサンプリングを行う。ただし、ALCモードのときは、切替え回路57は、ALC回路44の出力を選択する。一方、光増幅器の動作がALCモードからAGCモードに切り替わると、ALC補助回路60は、上述のサンプリング動作を停止し、サンプルホールド回路62は、最後のサンプリングにより得られたデータを保持する。そして、AGCモードにおいて、可変減衰器42における損失がサンプルホールド回路62に保持されている損失値に一致するように制御系が動作する。なお、AGCモードにおいては、切替え回路57はALC補助回路60の出力を選択する。この後、光増幅器の動作がAGCモードからALCモードに戻ると、可変減衰器42における損失はALC回路44によって制御されるようになり、ALC補助回路60は、再び上述のサンプリングを行うようになる。なお、光増幅器の動作モードに切替えについては、後で詳しく説明する。

【0061】図11は、図10に示した光増幅器の変形例である。図11に示す光増幅器の基本構成は、図10に示した光増幅器と同じであるが、AGC回路においてASE光を補正する方法が異なる。すなわち、図10に示した光増幅器では、ASE光の影響を排除するために、受光素子51a、51bにより検出された入力パワー値にそれぞれASE補正值1、ASE補正值2が加算される。これに対して、図11に示す光増幅器では、受光素子52a、52bにより検出された出力パワー値からそれぞれASE補正值4、ASE補正值5が差し引かれる構成となっている。なお、ASE補正值4、5は、それぞれEDF41a、41bにおいて発生するASE光パワーに相当する。なお、出力パワーからASE補正值4、5を差引く構成は、例えば、特願平11-112434号公報に開示されている。

【0062】このように、図10に示す光増幅器では、算出利得 $G = P_{out} / (P_{in} + \text{補正值})$ が参照値に一致するように励起光パワーが制御されるのに対し、図11に示す光増幅器では、算出利得 $G = (P_{out} - \text{補正值}) / P_{in}$ が参照値に一致するように励起光パワーが制御される。したがって、AGCにおいてASEの影響を排除する点では、基本的に同じである。ただし、図11に示す構成では、EDFへの入力光が停止した場合は、AG



C回路43aに「ゼロ」が入力されることになる。したがって、制御系の安定性については、図10に示す構成の方が有利である。

【0063】図12は、実施形態の光増幅器の具体的な構成を示す図である。なお、この光増幅器は、図10に示す構成をベースにしている。この光増幅器では、様々な制御がDSP71により実行される。なお、DSP71には、光増幅器の入力パワーを表すデジタルデータ、光増幅器の出力パワーを表すデジタルデータ、可変減衰器42における損失を表すデジタルデータ、制御情報が与えられる。ここで、光増幅器の入力パワーを表すデジタルデータは、受光素子51aにより検出されたアナログ値をデジタルデータに変換することにより得られる。光増幅器の出力パワーを表すデジタルデータは、受光素子52bにより検出されたアナログ値をデジタルデータに変換することにより得られる。可変減衰器42における損失を表すデジタルデータは、受光素子52a、51bにより検出された光パワーの比率を表すアナログ値をデジタルデータに変換することにより得られる。制御情報は、波長数情報、動作モード切替え情報、ASE補正量情報を含み、制御回路12から与えられる。なお、これらの情報は、上述した監視制御信号により各光ノードに伝送される。また、DSP71は、ROM72およびEP2ROM73にアクセスすることができる。そして、DSP71は、これらのデータおよび情報に基づいて、可変減衰器42における損失を表す情報を出力する。なお、DSP71の出力は、D/A変換回路によりアナログデータに変換されて可変減衰器42に与えられる。

【0064】DSP71は、主に、以下の処理を実行する。

(1) ALCモードにおいて、可変減衰器42に対して指示を与える。

(2) ALCモードにおいて、所定時間ごとに可変減衰器42における損失を検出し、それをEP2ROM73に書き込む。このとき、EP2ROM73は、新たに検出される損失値により随時更新されていく。

【0065】(3) 光増幅器の動作モードがALCモードからAGCモード切り替わるときに、EP2ROM73の更新を停止する。これにより、動作モードが切り替わる時点における可変減衰器42における損失を表すデータがEP2ROM73に保存される。なお、上記動作モードの切替えは、例えば、監視制御信号により波長数

$$\begin{aligned} \text{各光ノードで発生する規格化ノイズ} &= 10 / \text{OSNR}_i \\ &= N F_i h \nu \Delta F / P_{in} \end{aligned}$$

ここで、「OSNR<sub>i</sub>」は、i番目の光増幅器における光信号／ノイズ比を表す。「NF<sub>i</sub>」は、i番目の光増幅器におけるノイズ指数を表し、例えば、ROM72に予め格納されている。「hν」は、エネルギーを表す。「ΔF」は、光増幅器の帯域幅である。「P<sub>in</sub>」は、入

力が増加した旨が通知された時、監視制御信号によりモード切替え指示を受信した時、監視制御信号を所定時間以上受信できなかった時、監視制御部異常時などに発生する。

【0066】(4) 光増幅器への信号入力開始されたときに、AGCモードにおいて、可変減衰器42に対してEP2ROM73に保持されている値を指示する。上記(1)について詳しく説明する。ALCモードにおける出力パワーは、基本的には、波長多重光の波長数に応じて決定される。ここで、波長多重光の波長数は、上述したように、監視制御信号により通知される。そして、ALCモードにおいて保持すべき目標出力パワーは、基本的には、「1波当たり出力パワー」と「波長数」との積により与えられる。なお、「1波当たり出力パワー」は、予めROM72に格納されている。

【0067】DSP71は、図13に示すように、時間ΔTごとに、受光素子52bにより検出される実際の出力パワーと目標出力パワーと差分ΔPを算出し、さらに補正量「ΔP/n」を算出する。ここで、「n」は、1よりも大きな正の値である。図13に示す例では、時刻T<sub>0</sub>において、実際の出力パワーと目標出力パワーと差分として「ΔP<sub>0</sub>」が得られている。よって、この場合、DSP71は、実際の出力パワーが「ΔP<sub>0</sub>/n」だけ上昇するように、可変減衰器42における損失を調整する。続いて、時刻T<sub>1</sub>において、実際の出力パワーと目標出力パワーと差分として「ΔP<sub>1</sub>」が得られている。よって、この場合、DSP71は、実際の出力パワーが「ΔP<sub>1</sub>/n」だけ上昇するように、可変減衰器42における損失を調整する。以降、同様に、時間ΔTごとに可変減衰器42における損失を調整し、実際の出力パワーを徐々に目標出力パワーに近づけていく。なお、出力パワーの調整速度（すなわち、ALC時定数）は、「n」又は「ΔT」を適切に選択することにより、所望の値に設定できる。例えば、「ΔT」を長くすれば、ALC時定数は長くなる。

【0068】なお、目標出力パワーは、基本的には波長多重光の波長数に基づいて決定されるが、ノイズを考慮して決定されるようにしてもよい。この場合、例えば、図14に示すように、監視制御信号により伝送されるノイズ情報が利用される。すなわち、各光増幅器は、下式に従い、自装置で発生するノイズを推定する。

【0069】

力パワーを表す。

【0070】各光増幅器は、監視制御信号を利用して通知されるノイズ情報に自装置において発生するノイズ情報を加算し、その加算結果を次の光ノードに転送する。例えば、図14に示す例では、ノイズ情報として以下の

結果が得られる。

光ノード1a:  $1/\text{OSNRa} \times 10\Delta F$

光ノード1b:  $1/\text{OSNRa} + 1/\text{OSNRb} \times 10\Delta F$

光ノード1c:  $1/\text{OSNRa} + 1/\text{OSNRb} + 1/\text{OSNRc} \times 10\Delta F$

そして、DSP71は、下式に従い、目標出力パワーを決定する。

【0071】目標出力パワー =  $m \text{Poutch} (1 + 1/\text{OSNR} \times 10\Delta F)$

ここで、「m」は、波長多重光の波長数を表し、「Poutch」は、1波当たり出力パワーを表し、「 $1/\text{OSNR} \times 10\Delta F$ 」は、上述のようにして算出された累積ノイズである。

【0072】次に、光増幅器の動作モードの切替えについて説明する。

#### 第1の実施例

第1の実施例の光増幅器は、ALCモードを基本モードとして動作し、波長数が変動した場合あるいは障害が発生した場合にAGCモードで動作する。

【0073】図15は、光増幅器の動作モードの遷移を示す図である。光増幅器は、その起動時には、第1のALCモードで動作する。第1のALCモードは、比較的短い時定数が設定されている。そして、第1のALCモードにおいて、光増幅器への入力パワーが安定すると、AGCモードに遷る。なお、入力パワーは、受光素子51aにより検出される。

【0074】AGCモードにおいて、波長多重光の波長数が安定している場合は、第2のALCモードに遷る。なお、「波長数」は、監視制御信号により定期的に通知される。従って、通知される「波長数」が一定時間継続して同じであったときに、波長数が安定したものと判断される。

【0075】第2のALCモードは、長い時定数が設定されている。そして、第2のALCモードにおいて、(1) 波長数の変動の通知を受信した場合、(2) 監視制御信号の障害が発生した場合、(3) 信号入力が停止した場合、または(4) 障害(電源の一時停止など)が発生した場合に、AGCモードに遷る。

【0076】このように、実施形態の光増幅器は、その起動時には、比較的短い時定数を持った第1のALCモードで動作する。したがって、光増幅器の出力パワーは、その起動時に比較的短時間のうちに安定する。

【0077】図16は、第1の実施例の制御フローを示す図である。ALCモードにおいては、光増幅器の出力パワー(すなわち、EDF41bの出力パワー)が目標出力パワーに一致するように可変減衰器42における損失が調整される。このとき、可変減衰器42における実際の損失が定期的に検出され、最新の検出値がEP2ROM73に保持される。

【0078】AGCモードにおいては、EP2ROM73の更新が停止される。そして、可変減衰器42における損失は、EP2ROM73に保持されている損失値データに一致するように固定される。

【0079】図17は、ALCモード(図15の「第2のALCモード」に相当する)において波長多重光の波長数が変動した場合の動作を説明する図である。ここでは、時刻T1において波長多重光の波長数が減少したものととする。この場合、光増幅器の総入力パワー及び総出力パワーが低下する。ただし、1波当たりの出力パワーは変化しない。この後、ALCモードでは、光増幅器の総出力パワーが一定の値に保持されるように可変減衰器42における損失が調整される。しかし、実施形態の光増幅器のALC時定数は十分に長いので、光増幅器の総出力パワーの変化速度は非常に遅い。したがって、1波当たりの出力パワーは、ほぼ一定のままである。

【0080】続いて、時刻T2において、監視制御信号により「波長数の変動」が通知されると、動作モードがALCモードからAGCモードへ切り替えられる。ここで、波長多重光の波長数が変化してから監視制御信号により「波長数」が通知されるまでの時間(時刻T1～時刻T2の期間)は、例えば、数10m秒程度である。これに対して、ALC時定数は数秒程度である。したがって、波長数が変動してから動作モードが切り替えられるまでの期間に、可変減衰器42における損失はほとんど変化せず、1波当たりの出力パワーもほとんど変化しない。

【0081】これに対して、もし、ALCの時定数が十分に長くなかったと仮定すると、図18に示すように、波長数が変動してから動作モードが切り替えられるまでの期間に、1波当たりの出力パワーが変動してしまう。すなわち、図18に示す例では、時刻T1において波長多重光の波長数が変化すると、以降、光増幅器の総出力パワーは、比較的短い時間で時刻T1以前のレベルに戻ろうとする。したがって、このALC動作により、1波当たりの出力パワーも変動してしまう。

【0082】なお、ALCの時定数は、例えば、以下のようにして決定される。すなわち、まず、1波当たりの出力パワー変動の許容値を決定する。続いて、通信システムの構成、各光ノードにおける信号処理時間(3R動作を含む)などに基づいて、監視制御信号が各光ノードに伝達される時間の最大値を見積もる。そして、ALCの時定数は、波長数が変動した時から上述のようにして見積もられた最大時間が経過するまでの間に、1波当たりの出力パワーの変動が上記許容値を越えないように設定される。

【0083】また、光増幅器の特性は、周囲の温度が変化した場合や、光増幅器を構成する部品の経年劣化などにより変化する。しかし、これらの要因に起因する特性変化の速度は極めて緩やかである。例えば、数時間～数

年の間の1 dB程度の変動が発生する程度である。したがって、ALCの時定数を数秒～数10秒程度に設定しても、これらの要因による出力パワー変動は抑えることができる。

【0084】図17に戻る。時刻T2において動作モードが切り替えられた後は、光増幅器はAGCモードで動作する。ここで、実施形態の光増幅器のAGC時定数は、EDFの応答時間と比べて十分に短い。したがって、光増幅器の利得は、図8を参照しながら説明したように、一定の保たれる。すなわち、波長多重光の波長数が増加した場合であっても、1波当たりの出力パワーは変動しない。

【0085】これに対して、もし、AGC時定数が十分に短くなかったと仮定すると、波長多重光の波長数が増加したときに、図19に示すように、1波当たりの出力パワーが変動してしまう。すなわち、波長数の変化に伴って入力パワーが低下した時から励起光パワーが適切に調整されるまでの時間が、EDFの応答時間よりも長くなると、励起光パワーの調整が遅れてしまい、一時的にEDFの利得が過大になってしまう。この結果、1波当たりの出力パワーが一時的に大きくなってしまう。すなわち、サージが発生してしまう。

【0086】図20は、波長多重光の波長数が増加したときの、動作モードの遷移および1波当たりの出力パワーを示す図である。ここでは、時刻T1において、波長多重光の波長数が「5」から「3」に減少したものとする。また、ALCモードにおいて、「波長数=5」に対応する目標出力パワーは「50」であり、「波長数=3」に対応する目標出力パワーは「30」であるものとする。なお、図20において、光パワーは、単位のない数値で表されている。

【0087】時刻T1以前は、光増幅器はALCモードで動作しており、総出力パワーは、「50」に保持されている。このとき、1波当たりの出力パワーは、「10」である。

【0088】時刻T1において、波長多重光の波長数が「5」から「3」に減少すると、光増幅器の総出力パワーは、「50」から「30」に低下する。このとき、光増幅器は、ALCモードで動作している。したがって、DSP71は、時刻T2において、波長数情報を含む監視制御信号を受信するまで、光増幅器の総出力パワーが「50」に戻るよう可変減衰器42を調整していく。しかし、上述したように、実施形態の光増幅器のALC時定数は十分に長いので、時刻T2における光増幅器の総出力パワーは、ほぼ「30」のままである。すなわち、時刻T1～時刻T2の期間は、1波当たりの出力パワーは、ほぼ「10」のままである。

【0089】時刻T2において、光増幅器の動作モードがALCモードからAGCモードに切り替わる。したがって、以降、EP2ROM73には、時刻T2における

可変減衰器42の損失値が保持されることになる。

【0090】時刻T2以降、光増幅器は、AGCモードで動作する。このとき、可変減衰器42の損失は、EP2ROM73に保持されている値に従う。また、AGCモードでは、光増幅器の利得が一定に保持されるので、1波当たりの出力パワーは変化しない。すなわち、AGCモードで動作している期間は、1波当たりの出力パワーはほぼ「10」のままであり、また、総出力パワーはほぼ「30」のままである。

【0091】光増幅器がAGCモードで動作している期間に、一定時間継続して同一の波長数情報（波長数=3）が検出されると、時刻T3において、動作モードがAGCモードからALCモードに戻る。このとき、目標出力パワーは、受信した波長数情報に従って「30」に設定される。一方、光増幅器がAGCモードで動作している期間は、総出力パワーはほぼ「30」のまま維持されている。すなわち、時刻T3において、光増幅器の実際の総出力パワーは、ほぼ目標出力パワーに一致していることになる。したがって、時刻T3以降、可変減衰器42の損失値が大きく調整されることはない。よって、時刻T3以降も、1波当たりの出力パワーはほぼ「10」のままである。

【0092】このように、光増幅器から出力される波長多重光に含まれる各信号光の出力パワーは、その波長多重光の波長数が増加しても、ほぼ一定の値に維持される。すなわち、実施形態の光増幅器では、AGC時定数を十分に短くするとともに、ALC時定数を十分に長くしたので、光増幅器から出力される波長多重光に含まれる各信号光の出力パワーは、常に安定している。

## 第2の実施例

第2の実施例の光増幅器は、AGCモードを基本モードとして動作し、定期的にALCモードで動作する。

【0093】図21は、光増幅器の動作モードの遷移を示す図である。なお、光増幅器が起動されたときから、第1のALCモードを経てからAGCモードに遷移するまでの手順は、第1の実施例と同じである。

【0094】AGCモードでは、可変減衰器42における損失は、EP2ROM73に保持されている値に固定される。そして、ALCモードは、定期的にあるいは外部からの指示等により起動される。ALCモードでは、光増幅器の出力パワーが目標パワーに一致するように可変減衰器42における損失が調整され、それに伴ってEP2ROM73が更新される。したがって、動作モードがAGCモードに戻った時に、可変減衰器42における損失は適切に補正されている。

【0095】このように、可変減衰器42における損失が適切に補正されるので、AGCモードで動作する場合であっても、出力パワーは安定している。

## 第3の実施例

第3の実施例の光増幅器は、第1の実施例と同様に、A

LCモードを基本モードとして動作する。ただし、第3の実施例の光増幅器では、第1の実施例の第1のALCモード、第2のALCモード、AGCモードに加え、シャットダウンモードを備える。

【0096】図22は、光増幅器の動作モードの遷移を示す図である。ここで、第1のALCモード、第2のALCモード、AGCモードは、基本的に、第1の実施例と同じなので、説明を省略する。

【0097】第3の実施例では、AGCモードまたは第2のALCモードにおいて、(1) 信号入力が停止した場合、または(2) 障害(電源の一時停止など)が発生した場合に、シャットダウンモードに遷る。そして、シャットダウンモードにおいて、信号入力が開すると、AGCモードに遷る。

【0098】図23は、第3の実施例の制御フローを示す図である。ALCモードにおいては、光増幅器の出力パワーが目標出力パワーに一致するように可変減衰器42における損失が調整される。このとき、可変減衰器42における実際の損失が定期的に検出され、最新の検出値がEPROM73に保持される。そして、入力信号が停止すると、シャットダウンモードに遷る。

【0099】シャットダウンモードにおいては、EPROM73の更新が停止される。さらに、EDFによる増幅動作が停止される。すなわち、励起光源の駆動を停止する。そして、信号入力が開すると、AGCモードに遷る。

【0100】AGCモードにおいては、励起光源を駆動する。また、可変減衰器42における損失は、EPROM73に保持されている損失値データに一致するように固定される。そして、所定時間経過後あるいは波長多重光の波長数が安定時点でALCモードに遷る。

【0101】このように、第3の実施例では、信号入力停止すると、シャットダウンモードに遷り、増幅動作が停止する。このため、図11に示す構成であっても、AGC回路に「ゼロ」が入力されることはない。したがって、AGC回路の動作が不安定になることが回避される。

#### 第4の実施例

第4の実施例の光増幅器は、図24に示すように、待機(ホットスタンバイ)モードを備える。

【0102】実施形態の通信システム内には、多数の光増幅器が存在するが、これらのうちの幾つかは、通常運用時には波長多重光が入力されず、プロテクション時においてのみ波長多重光が入力されることがある。この場合、これらの光増幅器は、通信システムが通常運用状態の場合は、待機モードに設定される。ここで、待機モードでは、通常の増幅動作が行われているときと比べて小さなパワーを持った励起光がEDFに供給される。すなわち、待機モードでは、EDFは低いレベルに励起された状態になっている。そして、待機モードで動作してい

る光増幅器に波長多重光が入力されると、その動作モードが即座にAGCモードに遷る。このとき、EDFは既にある程度励起されているので、AGCモードによる増幅動作が開始されるまでの時間は短い。

【0103】なお、上述の実施形態の光増幅器では、EDF41aおよびEDF41bの利得が個別に制御されているが、本発明はこの構成に限定されるものではない。すなわち、図25に示すように、EDF41aおよびEDF41bの利得の和が一定になるように制御される構成であってもよい。この場合、EDF41aおよびEDF41bの利得の和は、この光増幅器全体の利得から、可変減衰器42により損失分を差し引くことにより得られる。そして、励起光源56a、56bは、EDF41aおよびEDF41bの利得の和が一定の目標値になるように制御される。このような構成とすれば、利得のチルトが発生せず、前段増幅部(すなわち、EDF41a)において高出力が必要とされない。

【0104】また、上述の実施形態では、1組のエルビウム添加ファイバ光増幅器が設けられているが、それらの代わりにリニア光増幅器を用いてもよい。リニア光増幅器は、共振器の垂直方向にレーザ発振が行われる半導体アンプであって、その利得がクランプされるので、信号に対する利得が入力レベルに依らず一定の値に保持される。この場合、AGC回路を不要とすることができるか、或いは、AGC回路の構成を簡略化できる。

【0105】さらに、上述の実施形態の光増幅器は、前段増幅部、後段増幅部、およびそれらの間に設けられる可変減衰器を含む構成であるが、本発明はこれに限定されるものではない。すなわち、本発明は、図26(a)又は図26(b)に示すように、1つの増幅ユニットから構成される光増幅器にも適用される。

【0106】(付記1) 光増幅媒体および光減衰器を含み、波長多重光を伝送する光通信システムにおいて使用される複数の光増幅器の中の任意の光増幅器であって、上記光増幅媒体の利得を一定の値に保持する利得制御回路と、当該光増幅器の出力レベルが、上記光通信システム内の各光増幅器に通知される制御信号に対応する値に保持されるように上記光減衰器における損失を制御するレベル制御回路、を有し、上記レベル制御回路の時定数が、上記制御信号が上記光通信システム内の各光増幅器に通知されるまでの時間よりも長いことを特徴とする光増幅器。

【0107】(付記2) 光増幅媒体および光減衰器を含み、波長多重光を増幅する光増幅器であって、上記光増幅媒体の利得を一定の値に保持する利得制御回路と、当該光増幅器の出力レベルが一定の値に保持されるように上記光減衰器における損失を動的に制御する第1の動作モード、または、上記光減衰器における損失として上記第1の動作モードの終了時の損失値を固定的に設定する第2の動作モードを選択的に実行するレベル制御回路、

を有する光増幅器。

【0108】(付記3) 付記1または2に記載の光増幅器であって、上記利得制御回路の時定数が、上記光増幅媒体の応答時間よりも短い。

(付記4) 付記1または2に記載の光増幅器であって、上記利得制御回路は、上記光増幅媒体の入力パワーおよび出力パワーを検出する検出手段と、その検出手段により検出された入力パワーおよび出力パワーに基づいて、上記光増幅媒体の利得を算出する算出手段と、その算出手段により算出された利得に従って上記光増幅媒体に供給すべき励起光のパワーを制御する励起光制御手段と、を有し、上記算出手段は、上記入力パワーと、上記出力パワーから上記光増幅媒体において発生する自然放出光パワーを差し引いた値との比率に基づいて上記光増幅媒体の利得を算出する。

【0109】(付記5) 光増幅媒体および光減衰器を含み、波長多重光を増幅する光増幅器であって、上記光増幅媒体の利得を一定の値に保持する利得制御回路と、当該光増幅器の出力レベルが一定の値に保持されるように上記光減衰器における損失を制御するレベル制御回路と、を有し、上記利得制御回路が、上記光増幅媒体の入力パワーおよび出力パワーを検出する検出手段と、その検出手段により検出された入力パワーおよび出力パワーに基づいて、上記光増幅媒体の利得を算出する算出手段と、その算出手段により算出された利得に従って上記光増幅媒体に供給すべき励起光のパワーを制御する励起光制御手段と、を有し、上記算出手段が、上記光増幅媒体において発生する自然放出光パワーに対応する所定の値が加算された上記入力パワーと、上記出力パワーとの比率に基づいて上記光増幅媒体の利得を算出することを特徴とする光増幅器。

【0110】(付記6) 付記1に記載の光増幅器であって、上記レベル制御回路は、上記制御信号により波長多重光の波長数に変化したことが通知された時に、上記光減衰器における損失を固定する。

【0111】(付記7) 付記6に記載の光増幅器であって、上記レベル制御回路は、上記光減衰器における損失が固定されているときに波長多重光の波長数が安定すると、当該光増幅器の出力レベルが所定の値に保持されるように上記光減衰器における損失を制御する動作モードに戻る。

【0112】(付記8) 付記1に記載の光増幅器であって、上記レベル制御回路は、上記制御信号を所定時間継続して受信できなかった時に、上記光減衰器における損失を固定する。

【0113】(付記9) 付記1に記載の光増幅器であって、上記利得制御回路は、当該光増幅器に波長多重光が入力されていないときは、上記光増幅媒体の増幅動作を停止する。

【0114】(付記10) 付記1に記載の光増幅器であ

って、上記レベル制御回路は、当該光増幅器の起動時には第1の時定数で動作し、以降は上記第1の時定数よりも長く且つ上記制御信号が上記光通信システム内の各光増幅器に通知されるまでの時間よりも長い第2の時定数で動作する。

【0115】(付記11) 付記1に記載の光増幅器であって、上記レベル制御回路は、当該光増幅器の出力レベルが、波長多重光が当該光増幅器まで伝送されてくる間に累積したノイズを考慮して決まる値に保持されるように上記光減衰器における損失を制御する。

【0116】(付記12) 付記1に記載の光増幅器であって、上記光増幅媒体が第1および第2の光増幅媒体から構成され、上記利得制御回路は、上記第1および第2の光増幅媒体の利得の和を一定の値に保持する。

【0117】(付記13) 波長多重光を伝送する光通信システムにおいて使用される複数の光増幅器の中の任意の光増幅器であって、入力レベルに依存することなく入力波長多重光を一定の利得で増幅する光増幅媒体と、上記光増幅媒体の前段または後段に設けられる光減衰器と、当該光増幅器の出力レベルが、上記光通信システム内の各光増幅器に通知される制御信号に対応する値に保持されるように上記光減衰器における損失を制御するレベル制御回路を備え、上記レベル制御回路の時定数が、上記制御信号が上記光通信システム内の各光増幅器に通知されるまでの時間よりも長いことを特徴とする光増幅器。

【0118】(付記14) リング状に接続された複数の光ノードを含む波長多重光通信システムであって、上記複数の光ノードが、それぞれ付記1に記載の光増幅器を備えることを特徴とする光通信システム。

【0119】(付記15) 波長多重光を伝送する伝送路上に複数の光増幅器が設けられた光通信システムであって、上記複数の光増幅器がそれぞれ付記1に記載の光増幅器であることを特徴とする光通信システム。

【0120】

【発明の効果】本発明によれば、波長多重光を増幅する光増幅器において、波長多重光に含まれている各信号光の出力パワーが安定する。特に、波長多重光の波長数に変化した場合であっても、各信号光の出力パワーが一定の値に保持される。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施形態の光増幅器が使用される光通信システムの一例の構成図である。

【図2】実施形態の光通信システムの制御系を説明する図である。

【図3】光ノードの構成図である。

【図4】障害が発生していない状態(非プロテクション状態)を示す図である。

【図5】障害が発生した状態(プロテクション状態)を示す図である。

【図6】本発明の実施形態の光増幅器の基本構成を示す図である。

【図7】光増幅媒体の応答時間を説明する図である。

【図8】AGCの時定数を説明する図である。

【図9】ALCの時定数を説明する図である。

【図10】実施形態の光増幅器の構成図である。

【図11】図10に示した光増幅器の変形例である。

【図12】実施形態の光増幅器の具体的な構成を示す図である。

【図13】ALCモードの動作を説明する図である。

【図14】ALCモードの目標出力パワーを決定する方法を説明する図である。

【図15】第1の実施例の光増幅器の動作モードの遷移を示す図である。

【図16】第1の実施例の制御フローを示す図である。

【図17】実施形態のALCモードの動作を説明する図である。

【図18】従来のALCモードの動作を説明する図である。

【図19】従来のAGCモードの動作を説明する図である。

【図20】動作モードの遷移および1波当たりの出力パワーを示す図である。

【図21】第2の実施例の光増幅器の動作モードの遷移を示す図である。

【図22】第3の実施例の光増幅器の動作モードの遷移を示す図である。

【図23】第3の実施例の制御フローを示す図である。

【図24】第4の実施例の光増幅器の動作モードの遷移を示す図である。

【図25】他の実施形態の光増幅器の構成図である。

【図26】さらに他の実施形態の光増幅器の基本構成を示す図である。

【符号の説明】

1 光ノード

12 制御回路

41 a、41 b EDF (エルビウム添加ファイバ)

42 可変減衰器

43 a、43 b AGC回路

44 ALC回路

56 a、56 b 励起光源 (LD)

62 サンプルホールド回路

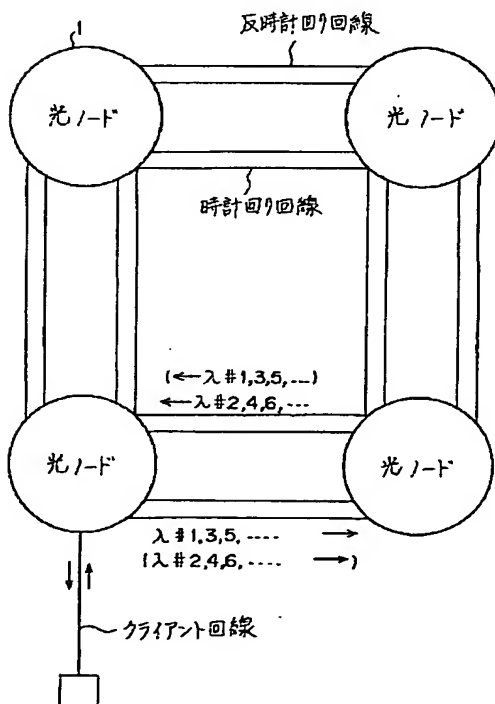
71 DSP

72 ROM

73 EP2ROM

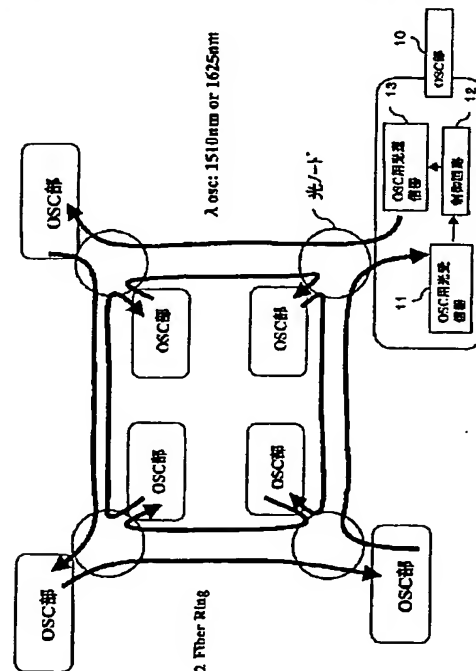
【図1】

本発明の実施形態の光増幅器が使用される  
光通信システムの一例の構成図



【図2】

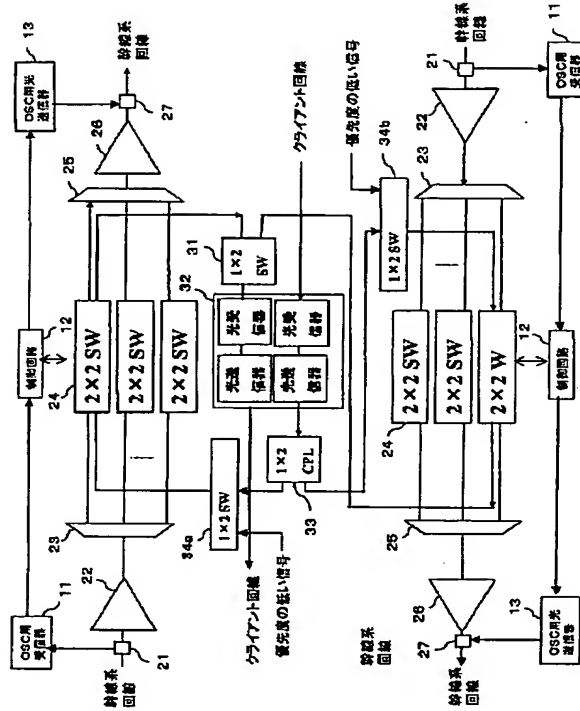
実施形態の光通信システムの制御系を説明する図





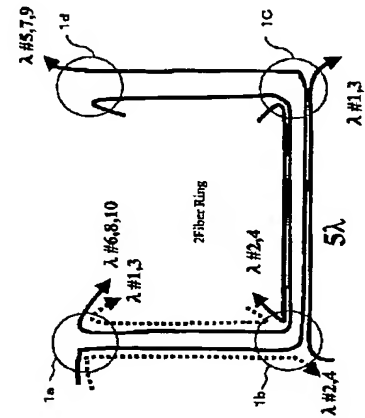
【図3】

光ノードの構成図



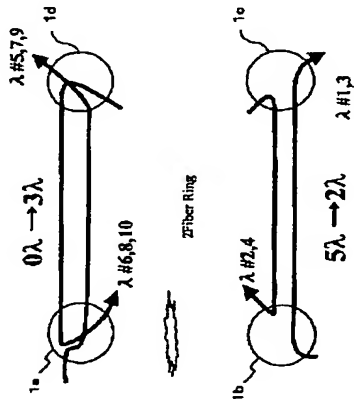
【図4】

障害が発生していない状態(非プロテクション状態)を示す図



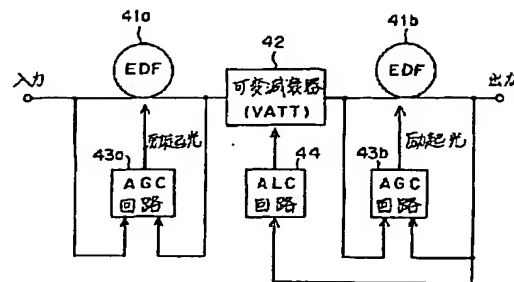
【図5】

障害が発生した状態(プロテクション状態)を示す図



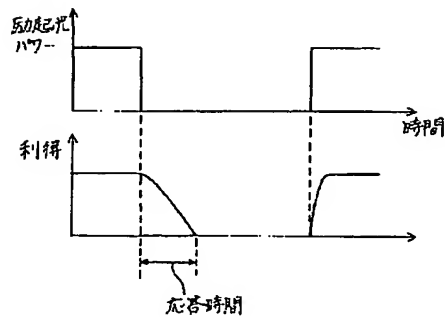
【図6】

本発明の実施形態の光増幅器の  
基本構成を示す図



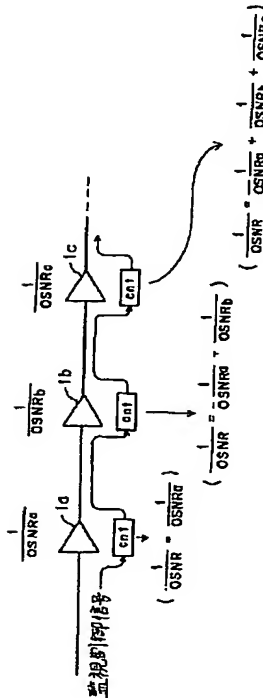
【図7】

光増幅媒体の応答時間を説明する図



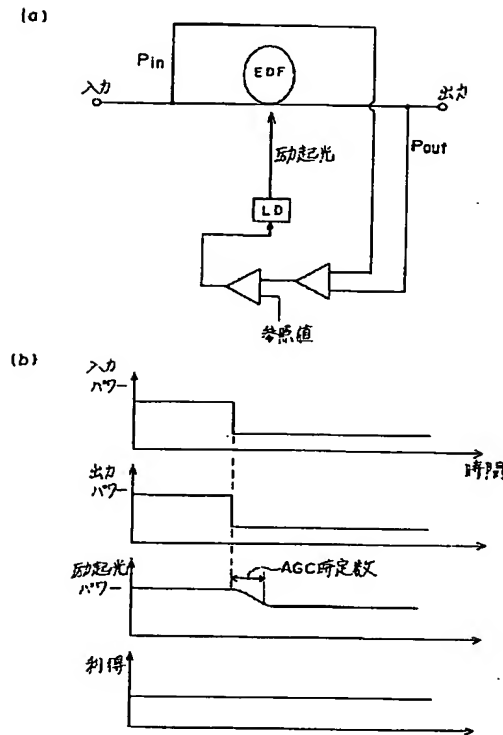
【図14】

ALCモードの目標出力パワーを決定する方法を説明する図



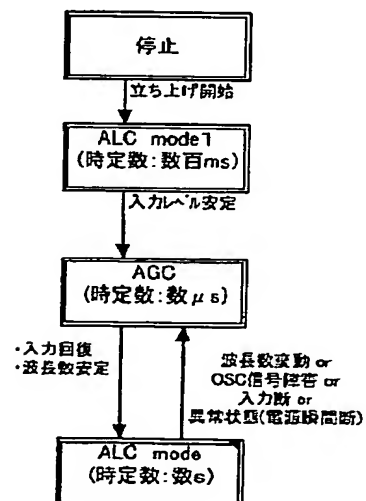
【図8】

AGCの所定数を説明する図



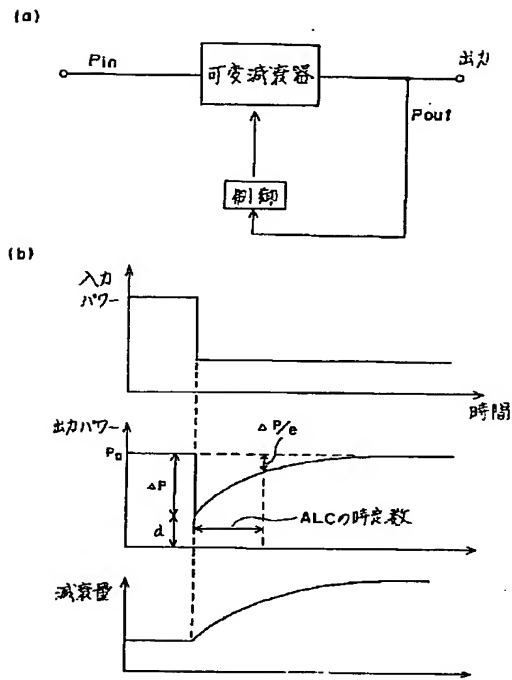
【図15】

第1の実施例の光増幅器の動作モードの遷移を示す図



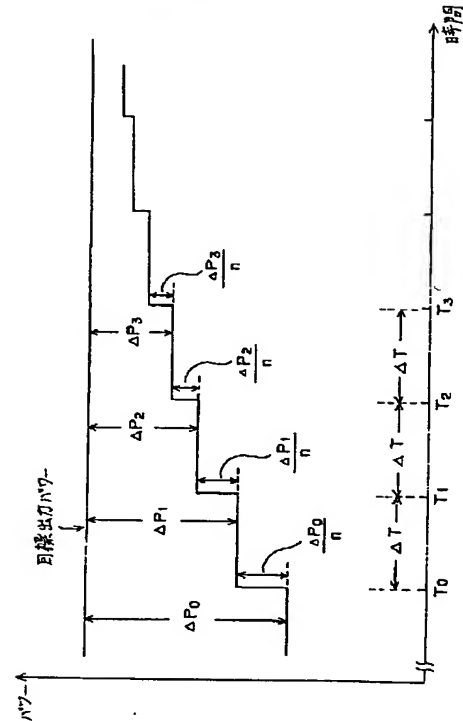
【図9】

ALCの時定数を説明する図



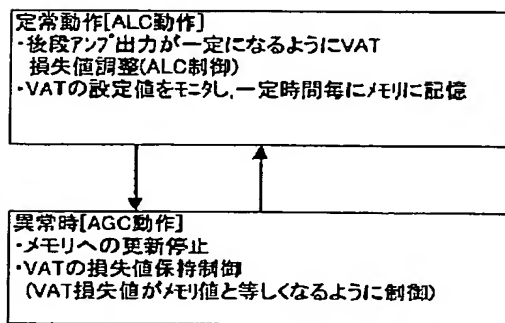
【図13】

ALCモードの動作を説明する図



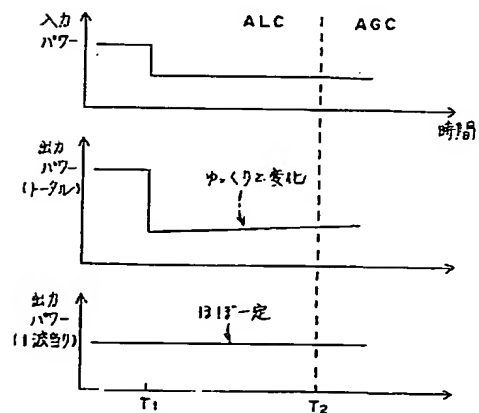
【図16】

第1の実施例の制御フローを示す図



【図17】

実施形態のALCモードの動作を説明する図



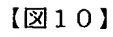
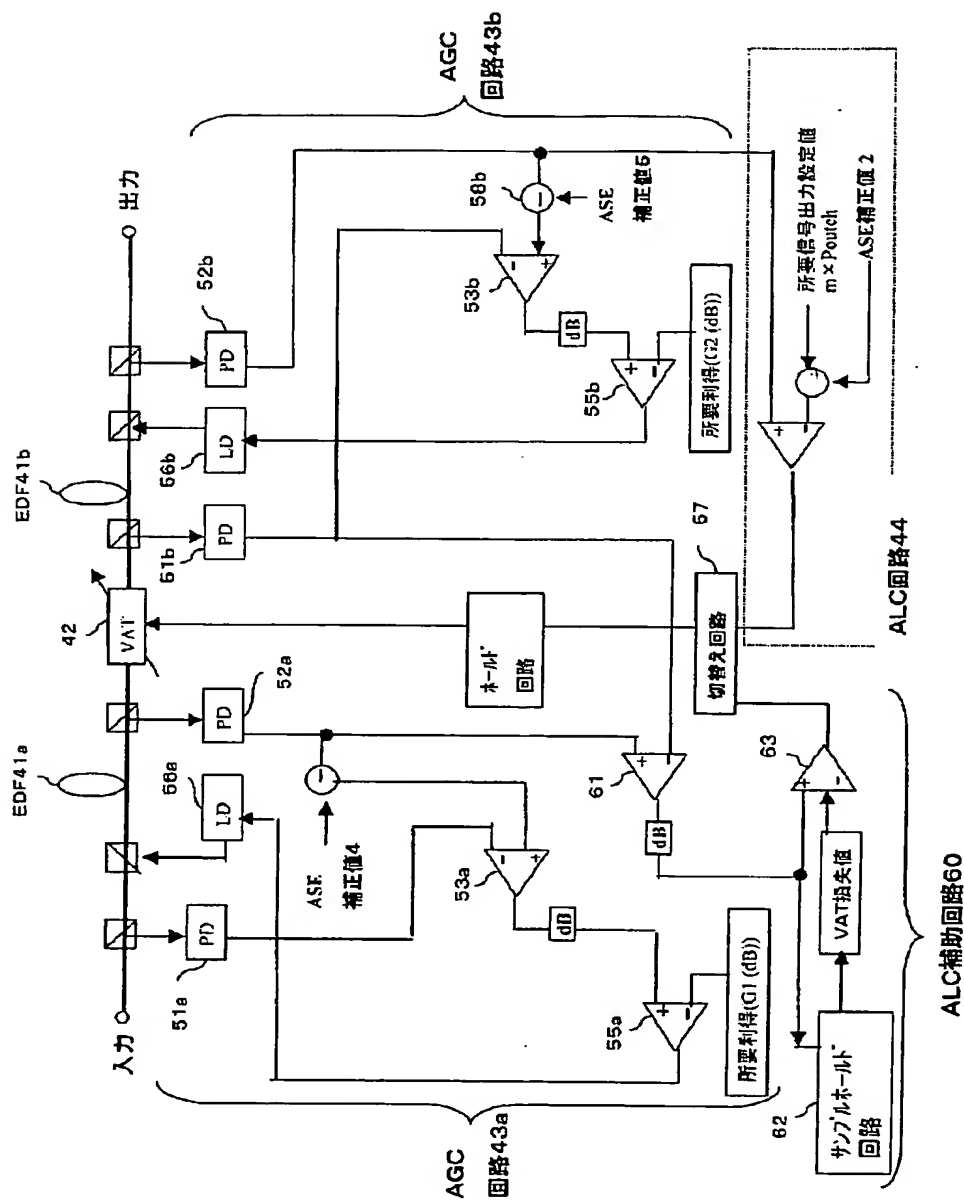
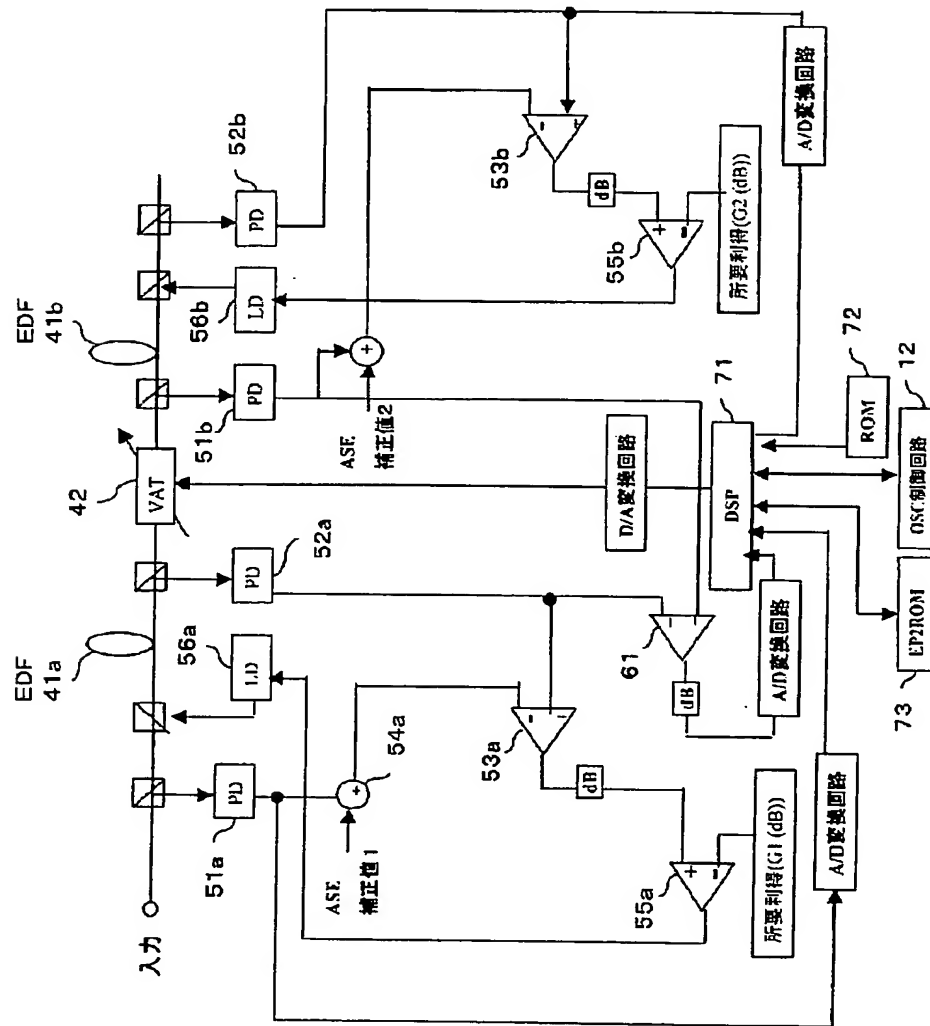


図10に示した光増幅器の変形例



【図12】

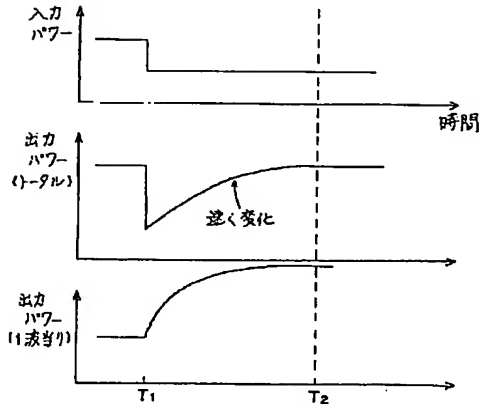
実施形態の光増幅器の具体的な構成を示す図





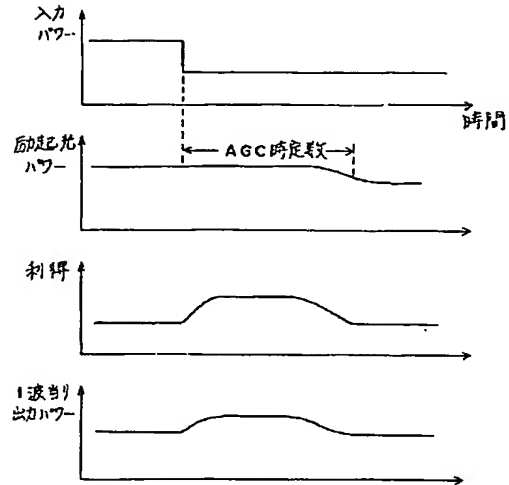
【図18】

従来のALCモードの動作を説明する図



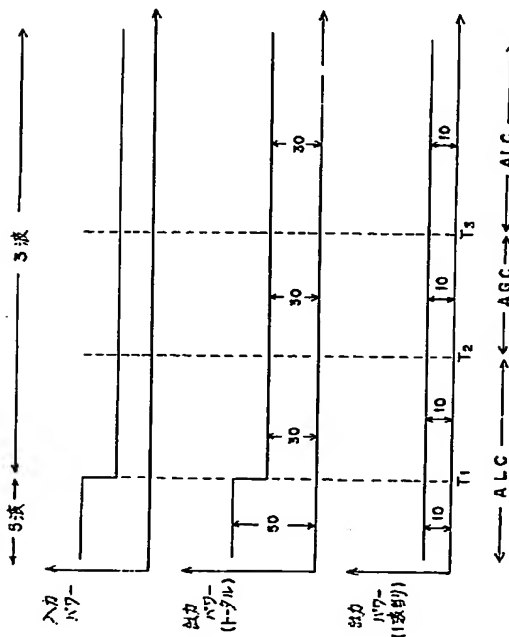
【図19】

従来のAGCモードの動作を説明する図



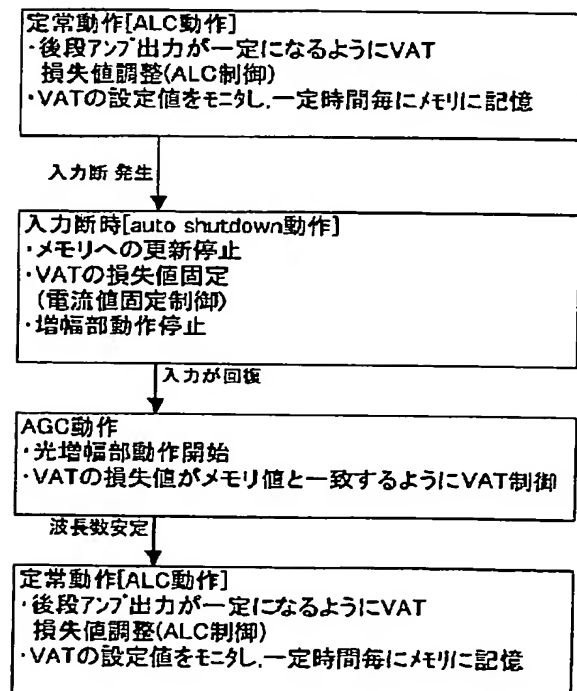
【図20】

動作モードの遷移および1波当たりの出力パワーを示す図



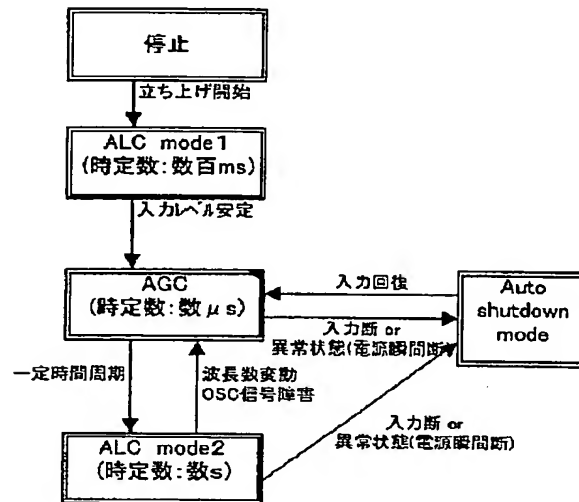
【図23】

第3の実施例の制御フローを示す図



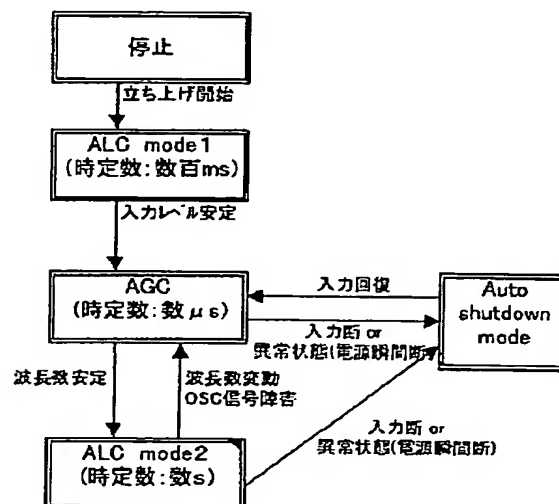
【図21】

第2の実施例の光増幅器の動作モードの遷移を示す図



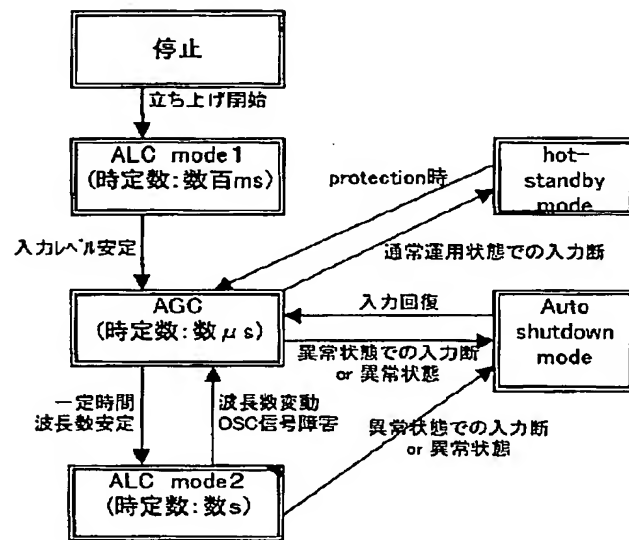
【図22】

第3の実施例の光増幅器の動作モードの遷移を示す図



【図24】

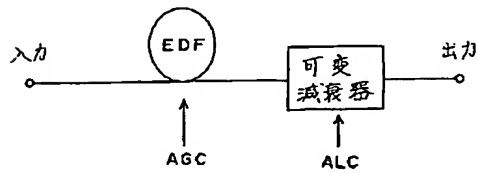
## 第4の実施例の光増幅器の動作モードの遷移を示す図



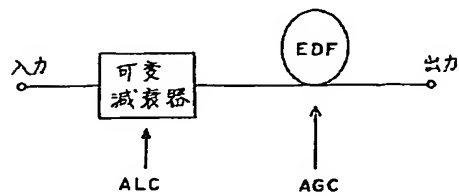
【図26】

さらに他の実施形態の光増幅器の  
基本構成を示す図

(a)

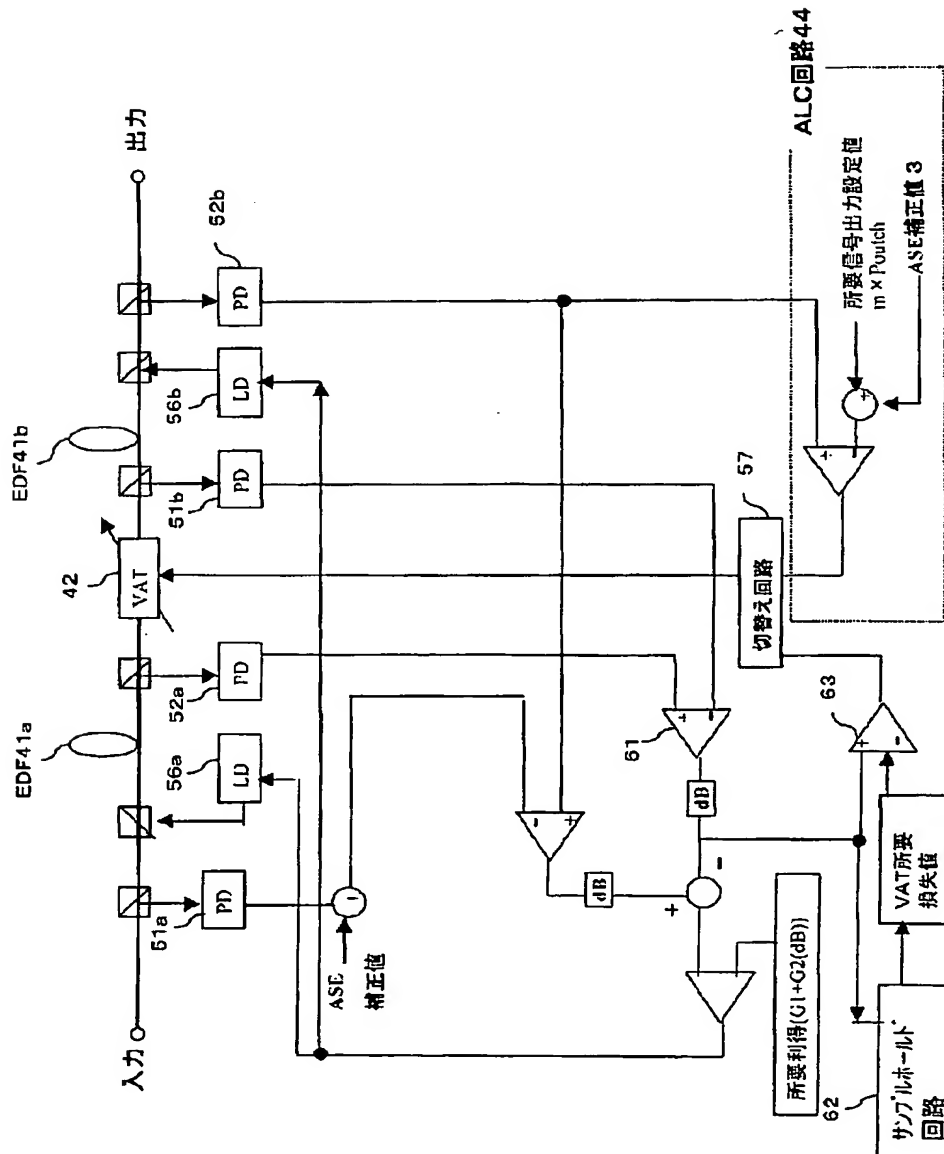


(b)



【図25】

## 他の実施形態の光増幅器の構成図



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 7

H04J 14/02

識別記号

F I

備考 (参考)

(25) 103-174421 (P2003-17JL8)

(72)発明者 宿南 宣文  
北海道札幌市北区北七条西四丁目3番地1  
富士通東日本デジタル・テクノロジー株  
式会社内

(72)発明者 續木 達也  
北海道札幌市北区北七条西四丁目3番地1  
富士通東日本デジタル・テクノロジー株  
式会社内

(72)発明者 鈴木 裕一  
北海道札幌市北区北七条西四丁目3番地1  
富士通東日本デジタル・テクノロジー株  
式会社内

Fターム(参考) 5F072 AB09 AK06 HH02 HH06 YY17  
5K002 AA06 BA02 BA04 BA05 BA06  
CA09 CA10 CA13 DA02 DA04  
DA11 EA33 FA01